長期連用同樣肥料對於土壤化學性質與稻谷收量之影響[1]

林家棻、李子純、張愛華、陳卿英[2]

引　言

長期施用肥料影響土壤化學性質之研究報告，散見於各科學雜誌者多屬旱田（14,19,22,25,26,29,30,31,），稻田者則甚少（6,13）。稻田在潛水時期，土壤起還原作用；水稻收穫排水後，土壤剖面又呈氧化狀態，因此施下肥料對於稻田土壤性質之影響，必有別於旱田者。

土壤具有緩衝能量（Buffering Capacity），短期肥料試驗很難反映施肥對於土壤性質之變異。本文乃利用臺灣省農業試驗所自民國13年以來舉辦之同樣肥料連用試驗區之土壤，以探討長期連用同樣肥料達48年之久，對於土壤化學性質與肥力變遷以及稻谷收量之影響，藉以瞭解稻田土壤培肥管理之原則，以達到增進土壤生產力之途徑。

試驗材料與方法

同樣肥料連用試驗共設12處理(6)，如表１。水稻品種包括在來種（第一期作用短廣花螺[6]，第二期作用矮脚尖）及蓬萊種（第一、二兩期作槪用臺中65號）。其中在來種係於1924年開始，而蓬萊種則在1926年開始。在1943～45年間因故中止，改種甘藷，1946年起恢復原來之位置與排列，重複一次，共計48小區。

土壤樣本係於1972年第一期作水稻收穫後，在每處理小區選取二點，用土鑽及土鏟採取表土及底土樣本各一個，乾後，同品種、同處理小區所採４個樣本，予以混合成一個樣本，計採得表土與底土各24個樣本，經碾細後，作下列各項化驗。所採用之方法如下：[9]

1. 土壤 pH 用玻璃電極法（土：水＝1：1）。
2. 陽離子交換能量（Cation cxchange Capacity）用醋酸銨法。
3. 交換性鹽基　用醋酸銨液抽出後，其中鈣與鎂用原子吸光儀測定之（Ca 用 422.7mμ 鎂用 285.2mμ）；而鉀則用焰光儀測定之。
4. 活性鐵（Free iron oxide）　用 $Na_2S_2O_4$—EDTA 法測定之（7.8）。
5. 有效性矽（Available Silica）　用 pH 4.0 醋酸鈉液抽出後，呈色比較之。（１）

表 1. 肥料處理與施用量

Table 1. Fertilizer treatments and rate of application

No	Treatment	Nutrient	Amount of nutrients added kg/ha			
			Each crop	91 crops (indica)	85 crops (Japonica)	Average
1	Complete inorganic fertilizers	N	95	8645	8075	8370
		P	41.5	3777	3528	3657
		K	78.9	7180	6707	6952
		Ca (Super.)	107.1	9746	9104	9436

本文第一、二兩作者曾獲得國家科學委員會研究補助費，並承農復會補助試驗費用，謹此一併誌謝。
本文中48年來稻谷收量資料之變方分析，承國立臺灣大學農學院生物統計研究室用電腦加以統計分析；此外，並承李顯琨先生協助整理資料及統計分析，王幼惠小姐協助化學測定，一併深致謝忱。

1.試驗報告農試字第628號　2.臺灣省農業試驗所技正、技士及技術員

2	Ammonium sulphate	N	95	8645	8075	8370
3	Calcium super phosphate	P	41.5	3777	3528	3657
		Ca (Super.)	107.1	9746	9104	9436
4	Potassium sulphate	K	78.1	7180	6707	6952
5	Farm-yard manure	N	95	8645	8075	8370
6	Green manure	N	95	8645	8075	8370
7	Soybean cake and calcium superphosphate	N	95	8645	8075	8370
		P	41.5	3777	3528	3657
		Ca (Super.)	107.1	9746	9104	9436
8	Farm-yard manure and calcium superphosphate	N	95	8645	8075	8370
		P	41.5	3777	3528	3657
		Ca (Super.)	107.1	9746	9104	9436
9	Green manure and calcium superphosphate	N	95	8645	8075	8370
		P	41.5	3777	3528	3675
		Ca (Super.)	107.1	9746	9104	9436
10	Green manure and lime	N	95	8645	8075	8370
		Ca (lime)	400	36400	34000	35241
11	Complete inorganic fertilizers and lime	N	95	8645	8075	8370
		P	41.5	3777	3528	3657
		K	78.1	7180	6707	6952
		Ca (Super.)	107.1	9746	9104	9436
		Ca (lime)	400	36400	34000	35241
12	No fertilizer or manure	N	0	0	0	0
		P	0	0	0	0
		K	0	0	0	0
		Ca	0	0	0	0

6. 有機物　用 Black 與 Walkeley 修正法。

7. 全氮　用 Kjedahl's 法。

8. 有機氮之分佈　用鹽酸水解後，水解液中所含總氮量、銨態氮、Hexosamine 及胺基酸態氮等則用 Bremner 氏法行之。

9. 氮之礦物化能量 (N mineralization potential) 乃用 40°C，潛水保溫培養法行之，每隔兩星期測定其所產生礦物化氮，共計測定5次，合10星期。(27)

10. 全磷　用70%過氯酸分解，經鉬酸呈色後，用分光儀比色之。

11. 無機態磷，包括 Al—P,Fe—P, 及 Ca-P　用 Chang & Jackson 與 Petersen 及 Corey 修正法行之。(24)

12. 有效性磷　用 Bray's 第一法 (0.025 N HCl—0.03 N NH_4F) 。

13.磷 Sorption isotherm 之測定　用 5.0gm 風乾土壤，添加 50ml 含有不同濃度的磷[16]，(0,3,6,9,12ppm) ，經搖動16小時後，離心，測定上澄液中所遺留的磷，並計算土壤吸着的磷。

14.磷之釋放　稱3.0gm 風乾土壤於 50ml 的塑膠離心管中，加水 30ml ，塞以橡皮塞，並附冷却管，置於煮沸的水浴鍋中，分別經15、30、60、120、180及240分鐘後，取出，離心，上澄液中的磷，用分光儀比色測定之。

15. 全鉀　以70% $HClO_4$ 分解後，用焰光儀測定之，以求全鉀含量之近似值。

16. 固定鉀　用煮沸硝酸抽出後，用焰光儀測定之，所得測定值減去交換性鉀求得之。

17. 交換性鉀　用醋酸銨液抽出後，用焰光儀測定之。

18, 谷與藁中 N,P,K, 及 Ca 之分析　氮用 Kjedahl 氏法，磷用鉬酸銨—釩酸銨法，鉀用焰光儀法[2]，及鈣則用 EDTA 法。

19. 谷與藁之收量　乃取自該試驗歷年記載資料。

結果與討論

1. 對於交換性鹽基、陽離子交換能量、鹽基飽和度、pH、游離鐵及有效態矽酸的影響：

表2.示長期施用硫酸錏、過磷酸鈣、硫酸鉀、綠肥及不施肥區之表土所含交換性鈣均較低，而施用堆肥、堆肥+過磷酸鈣，綠肥+過磷酸鈣，綠肥+石灰以及三要素+石灰區所含交換性鈣，顯然較前述各處理爲高。底土所含交換性鈣較表土高0.5~1m.e/100gm。其中以三要素+石灰區最高，硫酸

表 2. 游離鐵、有效態矽酸、交換性鹽基及其他有關性質

Table2. Exchangeable bases in me. per 100 grams of soil and related properties of the variously treated soils*

No	Treatment		Exchange Ca	Exchange Mg	Exchange bases	Exchange capacity	Saturation %	pH	Free iron oxide %	Available SiO_2 ppm
1.	Complete inorganic fertilizers	A	4.96	0.92	6.00	9.96	60.49	5.32	0.38	24.2
		B	5.53	1.24	6.83	11.28	60.86	6.31	2.76	57.2
2.	Ammonium sulphate	A	4.28	0.90	5.27	8.63	61.18	5.17	0.37	25.4
		B	5.77	1.41	7.25	10.68	67.68	6.20	2.51	70.6
3.	Calcium super-phosphate	A	4.52	0.89	5.52	9.21	60.00	5.45	0.41	21.1
		B	5.63	1.34	7.06	11.44	61.75	6.41	2.45	56.9
4.	Potassium sulphate	A	4.49	0.92	5.54	8.50	65.37	5.38	0.39	26.0
		B	5.15	1.38	6.61	8.75	76.59	6.69	3.00	109.9
5.	Farm-yard manure	A	5.31	1.12	6.28	11.22	58.49	5.33	0.33	30.8
		B	5.59	1.23	6.89	9.75	71.08	6.17	1.83	46.5

6.	Green manure	A	4.65	0.99	5.74	9.56	60.11	5.23	0.31	24.3
		B	5.03	1.21	6.31	8.69	72.80	6.20	1.83	51.0
7.	Soybean cake & calcium superphosphate	A	4.93	0.97	6.01	10.10	59.69	5.33	0.39	23.8
		B	5.59	1.20	6.86	10.19	67.71	6.27	2.14	46.0
8.	Farm-yard manure & Ca-superphosphate	A	5.40	1.05	6.56	11.42	58.13	5.42	0.40	29.6
		B	5.71	1.17	6.72	10.13	66.30	6.24	2.23	38.5
9.	Green manure & Ca-superphosphate	A	5.02	0.99	6.13	10.44	58.71	5.35	0.39	23.9
		B	5.18	1.04	6.29	9.06	69.44	6.17	1.98	31.2
10.	Green manure & lime	A	5.74	1.03	6.88	9.88	69.82	5.82	0.39	37.1
		B	6.05	1.01	7.14	9.13	78.55	6.75	2.17	72.2
	Complete inorganic fertilizer & lime	A	5.46	0.95	6.52	9.91	65.86	5.78	0.45	33.7
		B	6.43	0.97	7.47	10.00	74.69	6.73	2.30	69.4
12.	No fertilizer or manure	A	4.40	0.91	5.40	8.63	62.76	5.18	0.51	25.9
		B	5.74	1.36	7.17	9.31	77.58	6.52	1.96	82.6
LSD	0.05	A	0.53	0.07	0.57	0.66	7.25	0.15	0.03	3.92
	0.01		0.71	0.10	0.77	0.89	9.70	0.22	0.05	5.26
LSD	0.05	B	0.75	0.11	NS	1.22	7.96	0.22	0.47	20.66
	0.01		1.01	0.14		1.63	10.67	0.32	0.63	27.33

* A and B refer to surface soil and sub-soil, respectively. Each figure is the average of 4 replications.

鉀單施區及綠肥單施區最低，其他處理居中。若以三要素＋石灰區與三要素區比較時，表土中交換性鈣，前者較後者高 0.5m.e/100gm（表土深度經測定結果爲 15cm，假比重爲 1.2，故每公頃表土重 1,080,000kg），相當於施用量的0.5%，底土中交換性鈣，前者較後者多 0.9m.e/100gm（底土之假比重經測定爲1.5，深 20cm，每公頃重 3,000,000kg），相當於施用量的1.5%，亦即在35cm深的土層中，僅約保留48年來施下石灰的 1.9%。若以綠肥＋石灰區與綠肥單施區比較時，在 35cm 土層中，約可保留施用量的 2.9%，較無機三要素區爲高。查水稻對於鈣之吸收率甚低，均在1～5%，因此施下石灰在稻田强烈滲淋之下，大部分隨水排出底土，此與旱田施用石灰不易滲濾於土層中者，迥然不同。（10.11.20.21）

表土中交換性鎂的含量，以施有堆肥與綠肥者較高，與其他處理比較時，多達顯著平準。蓋堆肥與綠肥爲鎂主要供給源，而在底土中交換性鎂的含量則以硫酸錏、過磷酸鉀與硫酸鉀等單施區以及對照區較高，三要素＋石灰區最低，其他處理居中，由此顯示施用三要素完全肥料、堆肥或綠肥，均有減少鎂向下淋失的機會。

對於交換鉀性之影響，容待下節討論。

表土中交換性鹽基總量亦以硫酸錏、過磷酸鈣、硫酸鉀、綠肥以及無肥等區較低，綠肥＋石灰區

最高，其他居中。由於强烈淋滲關係，底土所含鹽基概較表土爲高，且處理間差異亦不顯著。

表土中陽離子交換能量以硫酸鉀、硫酸錏及無肥區最低，施用堆肥或堆肥十過磷酸鈣區最高，其他處理居中。堆肥十過磷酸鈣區之陽離子交換能量較無肥區多 2.8 m.e/100gm，較三要素區高 1.6 m.e/100gm， 而底土之陽離子交換能量似與過磷酸鈣之施用有關，凡施用過磷酸鈣之土壤， 其陽離子交換能量均較高

鹽基飽和度乃由交換性鹽基與陽離子交換能量求得之，鹽基飽和度高者，其 pH 亦高，相關係數在0.8以上。

表土之 pH 以施用石灰區土壤最高，施用硫酸錏區最低，其他處理居中，但硫酸錏區土壤之 pH 與無肥區比較時，其差異不明顯。底土 pH 亦以硫酸錏、堆肥 、綠肥區等較低， 但與無肥區比較時，其相差亦不過0.3單位左右。稻田在潛水强烈淋滲之下，鹽基流失，而 pH 保持不變，此可能與張守敬氏 (13) 等稱稻田具有反平衡作用 (Counter balancing effect) 有關 。所謂反平衡作用乃指稻田土壤中礦物風化迅速，淋失之鹽基容易由風化礦物補充之，使達到一定平衡狀況，因此，長期施用硫酸錏不易引起土壤鹽基狀況的改變與 pH 的劇降，此與旱田情形迥然不同 ([14]) 。

土層中游離鐵的積聚情形與土壤化育有密切關係。表土中游離鐵含量以無肥區最高，三要素十石灰區次之，堆肥與綠肥區最低，其他處理居中。底土中游離鐵含量均較表土爲高，此與梁氏（5）等研究北部稻田土壤之特質及其生成時，認爲游離鐵多積聚於底層土者甚相符合。底土中游離鐵含量以堆肥與綠肥區最低，硫酸鉀區最高。一般言之，施用化學肥料，有促進游離鐵向底土積聚之趨向。

矽酸與稻谷生產有密切關係，據連氏（4）研究結果，認爲本省北部酸性砂頁岩冲積土所含可溶性矽酸低，施用矽酸肥料多可顯著增產稻谷 ， 今泉氏（1）並以土壤中含有 100ppm 的有效態矽酸（pH 4.0,NaOAc 液抽出者）作爲缺否的判定界限。表 2.示各處理中以施有堆肥，或施用石灰提高土壤 pH 者， 其表土的有效態矽酸含量確較其他處理顯然提高。 底土所含有效矽酸概較表土爲高，顯示矽酸多向底土聚積，聚積之多寡，似與土壤 pH 有關， pH 高者， 土壤有效態矽酸有偏高的趨向。

2. 對於土壤有機炭，全氮及有機態氮分佈之影響：

表3.示凡接受有堆肥，綠肥及大豆粕者，其表土所含有機炭均較高，無肥或施用化學肥料者包括在內。

表 3. 有機碳、全氮及其碳／氮比

Table 3. Organic carbon, total nitrogen and C/N ratio of the variously treated soils

No.	Treatment	Organic carbon %		Total nitrogen %		C/N ratio	
		A	B	A	B	A	B
1.	Complete inorganic fertilizers	2.26	0.84	0.17	0.09	13.6	9.1
2.	Ammonium sulphate	2.16	0.91	0.17	0.09	13.1	9.9
3.	Calcium superphosphate	2.18	0.80	0.16	0.09	13.2	9.4
4.	Potassium sulphate	2.26	0.77	0.16	0.08	14.6	9.4
5.	Farm-yard manure	2.48	0.95	0.20	0.10	12.4	9.7
6.	Green manure	2.37	0.90	0.19	0.09	12.7	10.1

7.	Soybean cake & Ca-superphosphate	2.57	0.83	0.19	0.08	13.9	10.1
8.	Farm-yard manure & Ca-superphosphate	2.68	0.89	0.21	0.09	13.1	9.7
9.	Green manure & Ca-superphosphate	2.81	0.89	0.19	0.09	14.8	9.9
10.	Green manure and lime	2.78	0.90	0.19	0.09	14.8	10.4
11.	Complete inorganic fertilizer & lime	2.35	0.81	0.16	0.09	14.5	9.6
12.	No fertilizer or manure	2.11	0.87	0.15	0.09	14.0	9.7
LSD	0.05	0.17	0.09	0.01	NS	1.22	
	0.01	0.22	0.12	0.02		1.64	

*A and B refer to the surface soil and subsoil, respectively.

Each figure is the average of four replications.

三要素、硫酸錏、過磷酸鈣及硫酸鉀等區均較低；底土無此傾向，且其含量均較表土爲低。表土中，堆肥十過磷酸鈣區所含有機炭較三要素區高0.4%，較對照區或無肥區高0.6%，各相當於48年來總施用量的 6 %及 9 %（表土重量以1,800,000 kg/ha 堆肥中C/N 比作15計算），換言之，在稻田土壤中施用堆肥對於土壤有機炭的蓄積較三要素高。據 Stauffer 氏 (29) 在美國伊州 8 種土型上研究長期（40年）不同施肥處理對於作物產量確有顯著影響，但對於土壤有機炭含量之增進則不明顯，此可能因在旱田情形之下，土壤有機物之分解更爲迅速，因此欲以施用有機肥料提高旱田土壤有機含量，較水田更爲困難。

土壤中全氮含量亦以接受有堆肥，綠肥或大豆粕者，其表土全氮含量顯較其他處理爲高；而底土各處理間全氮含量之差異則不顯著。若以三要素區表土之全氮含量與對照區比較時，前者較後者高0.02%，相當於48年來總施用量的4.3%（表土重以 1,800,000kg/ha 計算）。此外，水稻對氮之吸收率約爲25%～30%（表10），因此，損失者達65～70%。若以堆肥十過磷酸鈣區與三要素區比較時，則前者較後者高0.04%，相當於總施用量之 8 %。換言之，堆肥對於土壤氮素的蓄積約倍於化學氮肥。

土壤中 C/N 比，表土高於底土，表土中又以堆肥及綠肥單施區較其他處理顯然降低；而底土各處理間 C/N 比之差異則不顯著。

表4.示土壤經熱鹽酸水解後，所得各有機態氮之分佈情形。若以佔全氮百分率表示時，則不間表

表 4. 土壤中有機態氮之分佈（1）表土

Table 4. Nitrogen distribution of the variously treated soils after hydrolysis

a. Surface soil

No.	Treatment	Non-hydrolyzable N	Hydrolyzable N					
			Total	Ammonium	Hexosamine	Amino acid	Hydroxy amino acid	Unidentified
		% of Total nitrogen						
1.	Complete inorganic fertilizer	34.0 (574)	66.1 (1102)	15.0 (251)	7.3 (122)	22.9 (376)	6.5 (108)	20.8 (354)

2.	Ammonium sulphate	37.3 (618)	62.7 (1033)	16.7 (277)	4.9 (80)	21.7 (360)	6.2 (101)	19.4 (316)
3.	Ca-superphosphate	40.0 (648)	60.2 (953)	15.6 (246)	4.7 (76)	27.0 (429)	5.0 (80)	13.0 (202)
4.	Potassium sulphate	33.2 (518)	66.7 (1032)	17.3 (268)	5.3 (82)	26.5 (409)	5.4 (83)	17.6 (273)
5.	Farm-yard manure	34.1 (682)	64.1 (1282)	15.7 (315)	5.7 (115)	24.0 (479)	6.0 (120)	18.7 (374)
6.	Green manure	35.3 (663)	64.8 (1213)	14.1 (264)	7.3 (137)	28.2 (531)	6.3 (118)	15.1 (281)
7.	Soybean cake & Ca-superphosphate	36.9 (685)	63.1 (1166)	16.0 (295)	5.2 (96)	24.8 (462)	6.0 (112)	17.1 (313)
8.	Farm-yard manure & Ca-superphosphate	35.6 (730)	64.4 (1320)	16.2 (333)	5.1 (76)	27.5 (564)	6.3 (129)	15.6 (320)
9.	Green manure & Ca-superphosphate	37.1 (707)	62.9 (1193)	15.2 (288)	5.7 (109)	26.4 (501)	5.8 (109)	15.5 (295)
10.	Green manure & lime	38.0 (714)	62.0 (1161)	15.5 (292)	6.0 (112)	24.5 (461)	6.0 (113)	15.9 (297)
11.	Complete inorganic fertilizer & lime	39.2 (638)	60.8 (988)	16.6 (269)	5.4 (88)	22.5 (368)	5.4 (88)	16.3 (263)
12.	No fertilizer or manure	34.7 (521)	64.6 (966)	16.8 (252)	5.7 (84)	22.3 (333)	6.3 (95)	19.7 (297)

% of Total nitrogen

LSD	0.05 0.01	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

N ppm

LSD	0.05	135.8	55.0	39.0	38.0	117.0	16.2	NS
	0.01	182.2	73.7	52.3	51.1	157.0	21.7	

表 4. 土壤中有機態氮之分佈（2）底土

Table 4. Nitrogen distribution of the variously treated soils after hydrolysis (Cont'd)
b. Subsoil

No.	Treatment	Non-hydrolyzable N	Hydrolyzable N					
			Total	Ammonium	Hexosamine	Amino acid	Hydroxy amino acid	Unidentified
		% of Total nitrogen						
1.	Complete inorganic	47.2 (438)	52.2 (481)	17.9 (164)	8.0 (74)	19.7 (182)	5.0 (47)	8.8 (72)
2.	Ammonium sulphate	46.3 (432)	53.7 (493)	19.5 (178)	9.1 (83)	17.7 (161)	4.1 (38)	7.5 (72)
3.	Ca-superphosphate	46.0 (391)	54.1 (460)	22.6 (190)	7.5 (64)	18.9 (161)	3.5 (30)	5.2 (45)
4.	Potassium sulphate	46.3 (384)	53.8 (442)	21.5 (176)	6.2 (51)	19.2 (158)	3.7 (31)	6.9 (57)
5.	Farm-yard manure	47.6 (465)	52.4 (510)	19.5 (190)	5.1 (50)	15.7 (154)	3.0 (29)	12.1 (116)
6.	Green manure	40.8 (368)	59.2 (532)	24.4 (219)	7.6 (63)	18.4 (164)	3.5 (32)	9.3 (86)
7.	Soybean cake & Ca-superphosphate	44.1 (363)	56.0 (462)	23.8 (196)	5.4 (45)	19.4 (159)	3.5 (29)	7.6 (63)
8.	Farm-yard manure & Ca-superphosphate	45.6 (423)	54.4 (502)	20.3 (188)	5.3 (49)	14.5 (133)	3.4 (31)	14.3 (133)
9.	Green manure & Ca-superphosphste	44.2 (399)	56.2 (504)	20.2 (181)	5.7 (55)	13.9 (124)	3.3 (29)	15.8 (144)
10.	Green manure & lime	42.9 (379)	57.1 (496)	22.9 (199)	6.1 (53)	19.6 (192)	3.4 (29)	8.5 (73)
11.	Compleԏe inorganic fertilizer & lime	45.1 (384)	54.9 (466)	26.1 (221)	3.5 (30)	16.2 (137)	3.1 (27)	9.2 (78)
12.	No fertilizer or manure	44.4 (400)	55.6 (500)	25.1 (226)	4.0 (36)	17.2 (154)	2.8 (26)	9.3 (85)
		% of Total nitrogen						
LSD	0.05	NS	NS	3.94	NS	NS	NS	5.00
	0.01			5.28				6.86
		N ppm						
LSD	0.05	NS	NS	31.2	NS	NS	NS	46.3
	0.01			41.9				62.1

* The hexosamine values reported in the table are not corrected for decomposition of hexosamine during acid hydrolysis. The appropriate correction factor as calculated by Sowden's extrapolation technique is 1.4

** Unidentified N = Total hydrolyzable N— (ammonium + Hexosamine + amino acid) —N.

*** Figures in ( ) are amounts of N in various fractions expressed as ppm of soil.

土或底土，各處理間差異多不顯著。若以各形態氮量 ppm 表示時，則各處理間有顯明的差異。此與 Keeney 與 Bremner 氏 (18) 研究耕種對於土壤氮分佈時所得結果相似。若就土層比較而言，底土所含非水解性氮 (Non-hydrolyzable—N) 與水解液中之銨態氮 (Ammonium)，Hexosamine 以其所佔全氮百分率表示時，均以底土高於表土；其他形態氮，如 Total hydrolyzable—N, Amino acid—N 及 Unidentified—N 則反是。

表土中有機態氮含量以 ppm 表示時，受肥料處理的影響甚大。就非水解性氮而言，無肥區最低，施有堆肥、綠肥、大豆粕者均較高，其他處理包括三要素、硫酸錏、過磷酸鈣、硫酸鉀等區居中。若就水解性氮，銨態氮，Hexosamine 胺基酸態氮及未知態氮而言，亦有類似趨向。其中值得注意者爲施用堆肥、綠肥或大豆粕者，土壤中所含水解性氮、胺基酸態氮，及未知態氮均較施用無機化學肥料者爲高，而此等氮素爲土壤氮素礦物化的主要供給源（3）對於增進稻田肥力有很大貢獻。

3. 對於土壤氮礦物化速率與能量之影響：

土壤中有機態氮必須經過礦物化作用，轉變爲無機態氮後，作物方克利用。因此，欲瞭解土壤氮之供應情形，必先探討土壤之氮礦物化速率 (Rate of N mineralization) 及能量 (N mineralization Potential)。過去試驗結果顯示，在室內潛水保溫培養所產生礦物化氮，可以反映在一定環境之下，稻田土壤對於氮素供應能力的高低（3）。

表5.示供試表土在室內潛水 40°C 保溫培養之下，所得礦物化氮之情形。其中氮礦物化能量之估

表 5. 潛水保温培養下，土壤中氮之礦物化速率與礦物化能量的估計

Table 5. Rates of N mineralization under water-logged condition and estimates of soil N mineralization potentials of the variously treated soils

No.	Treatment	N mineralization rates for indicated periods of incubation ppm/wks					N mineralization potential ppm	
		2 wk	4 wk	6 wk	8 wk	10 wk	Estimated from 1/Nt vs1/t	Estimated from log(No-Nt)vst
1.	Complete inorganic fertilizer	90.7	126.2	138.9	148.3	156.2	190.2	170
2.	Ammonium sulphate	90.0	125.9	140.1	150.0	158.8	195.7	170
3.	Ca-superphosphate	93.6	125.3	138.0	152.0	160.6	194.8	180
4.	Potassium sulphate	89.3	123.6	137.4	147.5	156.8	192.7	170
5.	Farm-yard manure	95.7	138.7	156.3	170.4	181.8	233.6	200
6.	Green manure	109.3	154.0	172.0	182.3	190.3	233.5	200
7.	Soybean cake & Ca-superphosphate	94.3	130.2	146.8	157.3	166.6	205.7	180
8.	Farm-yard manure & Ca-superphosphate	95.7	136.4	157.4	170.6	182.3	235.1	200
9.	Green manure & Ca-superphosphate	105.7	146.5	162.6	173.2	182.5	222.6	200
10.	Green manure & lime	93.1	120.1	133.3	141.8	148.1	173.6	160

11.	Complete inorganic fertilizer & lime	85.0	133.5	141.6	150.4	157.2	199.5	160
12.	No fertilizer or manure	82.3	114.0	126.6	135.7	143.2	175.3	150

* Rates of N mineralization were conducted on surface soils, Each figure in the table is the average of 4 replications.

計 (28) 乃先以 A 式 $1/N_t=1/N_o+b/t$ 求之。式中 N_t= 培養時期生成礦物化氮的累積量， t=週數或星期，b=坡度，N_o= 可礦物化能量 (N mineralization potential)，其中 $1/N_t$ 與 $1/t$ 之相關係數均在0.99以上，再從其迴歸關係求得N_o，其次，將 N_o 值代入 B 式 $\log(N_o/N_t) = \log N_o - b/2.303t$ 公式中，由增減 N_o 值，再求 $\log(N_o-N_t)$ 與 t 之直線相關， 其相關係數最高時，即爲所求得的 N_o 值。表 5. 中示用 $\log(N_o-N_t)$ vs t 所求得的N_o 值，低於用 $1/N_t$ vs $1/t$ 公式求得者，但更能反映土壤對於氮的供應能量 Ponamperuma (23) 認爲稻田之氮礦物化作用可以上述 B 式表示之。Kawaguchi 與 Kyume (17) 亦以 40°C 潛水培養兩星期所產生的 NH_3—N 作爲反映稻田的氮有效指數。

表5.中示用兩種方法所估計之氮礦物化能量雖有差異，但其趨向甚爲一致，均以對照區或無肥區最低，施用堆肥，綠肥等單施區或與過磷酸鈣兼施區最高，其他處理居中。此與前節肥料處理對於土壤中有機態氮之蓄積情形，甚相符合。

室內潛水保溫培養之下，各時期礦物化氮之釋放情形，如表5.及圖1.。其中顯示無肥區在各時期釋放的氮素均最低，三要素與硫酸錏單施區對於氮礦物化速率幾乎相等，僅略高於無肥區，但遠遜於綠肥或堆肥區。因此，從土壤中有機炭與全氮的蓄積情形，以及有機態氮的分佈與礦物化作用，稻田土壤氮素肥力的增進，誠有賴於堆肥或綠肥之施用。

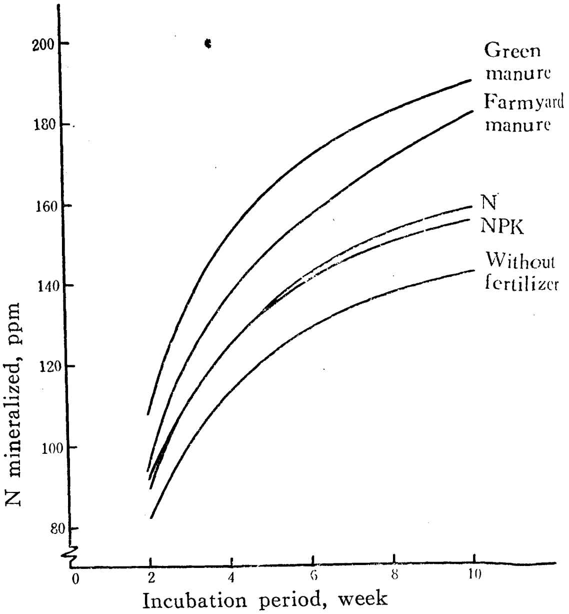

圖1.潛水保溫培養下，土壤氮之礦物化速率

Fig. 1. Rate of N mineralization under waterlogged condition at 40°C for the variously treated soils

4. 對於土壤全磷、無機態磷與有效磷的影響：

表6.示土壤中全磷含量、無機磷含量包括 Al—P, Fe—P 及 Ca—P ，以及有效磷含量均以施磷區高無磷區，表土與底土的趨向一致。但無磷區，表土與底土的全磷含量差異甚大，而施磷區，底土的全磷含量反較表土爲高，由此顯示在稻田强烈淋滲之下，施下磷肥亦向底土位移，但較其他鹽基緩慢而已。

表 6. 全磷、無機態磷及有效態磷

Table 6. Contents of total phosphorus, inorganic phosphorus, and available phosphorus of the variously treated soils

No.	Treatment		Total P ppm	Al—P ppm	Fe—P ppm	Ca—P ppm	Available P (Bray's P_1 test)
1.	Complete inorganic fertilizer	A	868	179.4	212.8	107.6	102.5
		B	1260	119.4	675.0	97.1	66.8

2.	Ammonium sulphate	A	522	49.4	78.3	46.8	33.0
		B	579	9.6	96.9	22.4	2.0
3.	Ca-superphosphate	A	786	1165.7	225.8	96.9	95.0
		B	1382	95.5	679.0	106.4	64.0
4.	Potassium sulphate	A	556	50.8	70.5	52.3	32.5
		B	477	7.7	64.4	18.2	1.0
5.	Farm-yard manure	A	662	81.4	102.9	66.8	55.0
		B	790	53.4	310.5	73.3	33.2
6.	Green manure	A	538	60.1	70.6	55.4	39.5
		B	494	15.7	93.7	28.0	6.0
7.	Soybean cake & Ca-superphosphate	A	840	159.0	180.5	100.4	101.3
		B	890	71.0	348.0	78.6	42.5
8.	Farm-yard manure & Ca-superphosphate	A	913	181.5	297.3	224.5	97.5
		B	1142	124.1	630.0	76.4	74.8
9.	Green manure & Ca-superphosphate	A	840	178.2	138.0	109.1	92.5
		B	1066	143.7	567.5	109.6	84.8
10.	Green manure & lime	A	585	63.6	94.0	83.4	38.3
		B	540	15.9	92.0	37.1	9.5
11.	Complete inorganic fertilizer & lime	A	765	141.1	189.2	107.7	81.3
		B	930	89.8	400.0	103.3	58.0
12.	No fertilizer or manure	A	532	58.3	95.5	55.9	34.8
		B	507	13.1	89.3	26.2	2.8
			Surface soil				
LSD	0.05		61.8	6.5	28.7	14.5	8.4
	0.01		82.9	8.7	38.6	19.5	11.3
			Sub soil				
LSD	0.05		126.8	14.3	106.8	28.9	10.8
	0.01		170.2	19.2	143.3	38.7	14.6

*A and B refer to the surface soil and sub soil, respectively. Each figure in the table is the average of 4 replications.

爲明瞭磷肥在土壤中消長情形，更將表6.資料簡化爲施磷區（包括三要素區、三要素＋石灰區、過磷酸鈣區、堆肥＋過磷酸鈣區、綠肥＋過磷酸鈣區，及大豆粕＋過磷酸鈣區）與無磷區（包括無肥區、硫酸錏區、硫酸鉀區、堆肥區、綠肥區、及綠肥＋石灰區），示於表7.。其中顯示施下磷肥中，約9％爲水稻吸收，13％蓄積於表土，45％蓄積於底土，其他30％以上可位移於底土以下。保留於表土的磷肥，以 Al—P 與 Fe—P 存在者各爲5～6％，以 Ca—P 存在者僅佔2％而已。存於底土中者， Al—P 與 Ca—P 各佔3～4％，而 Fe—P 則佔20％，此可能因稻田灌水後；鐵鹽被還原，大部分磷肥隨 Fe 移於底土 (23) 。由此顯示過去認爲磷肥在土壤中不易移動者，可能不適用於稻田情形。

表 7. 稻田中磷肥之消長與位移

Table 7. Fate and translocation of phosphates in paddy soil

P added 磷肥累積用量 (1924-1971) kg/ha	P—uptake 水稻磷累積吸收量 kg/ha	Total P content 土壤中全磷含量 ppm		土壤無機態磷含量 ppm Inorganic forms of phosphate					
		Surface Soil 表 土*	Sub Soil 底 土*	表土 Surface Soil			底土 Sub Soil		
				Al-P	Fe-P	Ca-P	Al-P	Fe-P	Ca-P
3657	1264	835.3	1111.7	167.5	207.3	107.7	107.3	549.9	95.2
0	936	565.8	564.5	60.6	85.3	60.1	19.2	124.5	34.2
增 加 (Increase)	328	269.5	547.2	106.9	122.0	47.6	88.1	425.4	61.0
%**	9.0	13.3	44.9	5.3	6.0	2.3	4.4	20.9	3.0

* 表土假比重1.2，土層深 15cm 每公頃重 1,800,000kg，底土假比重1.5，土層深 20cm 每公頃重 3,000,000kg

**%乃指佔施用量之百分比

5. 對於土壤中磷的吸着 (Sorption) 與釋放 (Release) 的影響

土壤中磷的供應情形，除與土壤中存在的磷形態有關外，尚受土壤溶液中磷的濃度 (Intensity factor) 、有效磷含量 (Labil P) (Capacity factor) 以及緩衝能量 (Buffering Capacity) 等因子的影響。所謂緩衝能量，乃指土壤溶液中磷被吸收後，補充並保持土壤磷濃度的能量。此等因子可由一定量土壤經與不同濃度磷液接觸，達到平衡後，求溶液中保留的磷濃度ppm，及單位重量吸着的磷 μg P/g，然後以土壤吸着磷作縱座標，土壤溶液中所遺留的磷濃度作橫座標，繪於半對數方格紙上，可約略形成直線，該直線的坡度即緩衝能量，該直線伸長交於橫座標，所得讀數即爲平衡時土壤溶液中磷的濃度。目前， Fox 氏 (15) 等均以此法所求得的土壤磷液濃度與緩衝能量作爲作物需要磷肥的指數。本試驗土壤經長期施磷與無磷處理之後，其土壤對於 Phosphorus Sorption isotherm如圖2.，其中顯示保持土壤溶液中一定的磷濃度時，無磷區土壤對於磷的吸着較施磷區高，換言之無磷區土壤，因48年來未施用磷肥，而又連續栽培水稻，土壤中磷被吸取，因此必須施用較多的磷肥以補充之。又從圖2.可知單位重量的土壤所吸的着磷

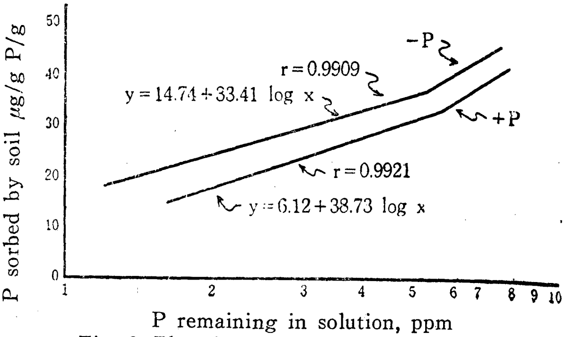

Fig. 2. Phosphorus sorption by sandstone and shale alluvial soil treated with and without P for 48 years

，與土壤溶液中所遺留的磷濃度有極顯著的直線相關。其相關係數均在0.99以上，其迴歸方程式中顯示施磷區土壤具有緩衝能量較無磷區高，因此，施磷區土壤溶液中磷被作物吸取後，容易由吸着磷補充之，由此顯示土壤 Phosphorus sorption isotherm 之測定頗有助於探討土壤磷的供應情形。

土壤中磷的釋放情形如圖3.，其中顯示硫酸錏施用區土壤磷之釋放速率與無肥區相若，單獨施用綠肥對於磷的釋放遠遜於單獨施用堆肥者，過磷酸鈣單施區之磷釋放高於三要素區，但低於堆肥＋過磷酸鈣區，或綠肥加過磷酸鈣區，此可能因堆肥或綠肥可減低過磷酸鈣中磷被固定作用，或過磷酸鈣可促進堆肥或綠肥中所含磷之礦物化作用，而使磷的釋放高於 NPK 區，因此，欲保持土壤溶液中較高濃度的磷與磷的釋放速率，除經常施用過磷酸鈣外，兼施堆肥或綠肥亦屬必要。

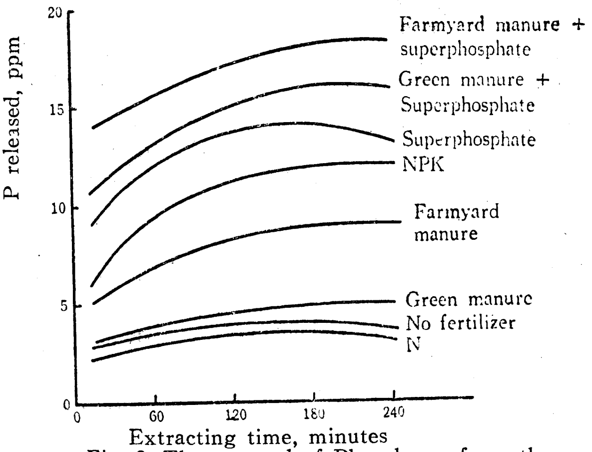

Fig. 3. The removal of Phosphorus from the variously treated soils by hot water as affected by time of extraction

6. 對於土壤全鉀含量固定鉀與交換性鉀的影響：

表8.中全鉀乃以70% $HClO_4$ 分解抽出，未經 HF 處理者，所得結果乃爲近似值。固定鉀乃以煮

表 8. 全鉀、固定態鉀與交換性鉀

Table 8. Contents of total potassium, fixed potassium and exchangeable potassium of the variously treated soils

No.	Treatment		Total K, ppm	Fixed K, ppm	Exch. K, ppm
1.	Complete inorganic fertilizer	A	10,491	128.1	47.9
		B	11,679	195.5	26.4
2.	Ammonium sulphate	A	10,546	123.2	39.1
		B	11,977	187.6	25.5
3.	Ca-superphosphate	A	10,823	123.1	41.1
		B	11,642	184.7	27.4
4.	Potassium sulphate	A	10,986	132.0	50.8
		B	10,788	176.9	33.3
5.	Farm-yard manure	A	9,984	119.3	39.1
		B	11,115	173.0	29.3
6.	Green manure	A	10,843	124.1	40.1
		B	10,920	169.1	30.3
7.	Soybean cake & Ca-superphosphate	A	10,140	120.0	43.0
		B	10,862	182.1	26.4

8.	Farm-yard manure & Ca-superphosphate	A	10,491	128.1	43.0
		B	10,394	170.1	35.2
9.	Green manure & Ca-superphosphate	A	10,811	120.2	44.0
		B	10,702	164.1	34.4
10.	Green manure & lime	A	10,557	121.2	42.0
		B	10,979	166.2	31.3
11.	Complete inorganic fertilizer & lime	A	10,686	134.9	42.0
		B	10,515	186.7	28.4
12.	No fertilizer and manure	A	10,195	129.0	36.2
		B	10,745	183.8	26.4
			Surface soil		
LSD	0.05		NS	NS	4.95
	0.01				6.65
			Sub soil		
LSD	0.05		852.2	15.21	NS
	0.01		1143.6	20.41	

* A and B refer to the surface soil and sub soil, respectively. Each figure in the table is the average of four replications.

沸硝酸抽出，所得測定值減去交換性鉀而得。交換性鉀乃以中性醋酸銨抽取測定之。表土中全鉀含量各處理間差異不顯著，底土雖然達到顯明差異，但與鉀肥之施用與否無關。固定鉀亦然，且底土含量顯然高於表土，而表土中交換性鉀含量則高於쌉土，且各處理間差異達到顯著平準。以無肥區所含交換性鉀最低，硫酸鉀單施區最高，兩者間相差為 14.6ppm，達到極顯著平準。若以表土重1,800,000 kg/ha 計算，相當於48年來總施用量的0.4%。底土各處理間交換性鉀含量之差異則不顯著。此外，硫酸鉀單施區，水稻對於鉀的吸 收率僅為7.7% （表10），因此，在稻田潛水情形之下，施下鉀肥中約有90%以上隨水淋失，或更位移於底土以下。但在三要素區，水稻對於鉀的吸收可高達40%，因此，提高稻田鉀肥效應，必須配合三要素施用及實施鉀肥分施，以減少淋失機會。

7. 對於稻谷收量的影響：

本試驗中在來種水稻係於1924年開始，二年後，加添蓬萊種水稻。在1943年～45年，因故中斷，1946年恢復試驗，因此稻谷資料分為二段整理，經變方分析，發現其處理之 F 值極為顯著，更比較各處理間稻谷收量差異顯著性，如表9.，其中顯示：

（1）勿論在來種或蓬萊種，第一期作或第二期作，無肥區稻谷收量均最低。

（2）單施硫酸錏、過磷酸鈣或硫酸鉀者，稻谷收量亦低。

（3）比較三要素區與三要素加石灰區之稻谷收量時，發現在第一階段（1924～1942或1926～1942），勿論在來種或蓬萊種，第一期作或第二期作均以三要素加石灰區顯著地高於三要素完全區，但在第二階段（1946～1971），兩處理間之差異則不顯著。因此，從遠程着想，稻田施用石灰對於土壤肥力的增進并不顯著。

（4）比較綠肥與綠肥加石灰區時，發現稻田施用綠肥，并不需要加施石灰，蓋其對於稻谷增產

表 9. 肥料處理對於稻谷收量之影響

Table 9. Yields of rice grain of the variously treated soils kg/ha

No.	Treatment		Indica type		Japonica type	
			1924～'42	1946～'71	1926～'42	1946～'71
1.	Complete inorganic fertilizer	a.	2750	2843	2507	2964
		b.	2441	2172	2414	2237
2.	Ammonium sulphate	a.	2168	2551	2111	2490
		b.	2216	1996	2019	1978
3.	Ca-superphosphate	a.	1597	2368	1369	2404
		b.	2165	1835	1943	1842
4.	Potassium sulphate	a.	1340	2130	1182	2125
		b.	1894	1745	1756	1810
5.	Farm-yard manure	a.	2742	3169	2788	3379
		b.	2789	2301	2954	2533
6.	Green manure	a.	2695	2916	2650	3015
		b.	2484	2182	2503	2374
7.	Soybean cake & Ca-superphosphate	a.	2894	2973	2859	3109
		b.	2705	2239	2596	2494
8.	Farm-yard manure & Ca-superphosphate	a.	2761	3342	2721	3395
		b.	2813	2482	2904	2562
9.	Green manure & Ca-superphosphate	a.	2764	2867	2657	2831
		b.	2544	2202	2393	2388
10.	Green manure and lime	a.	2776	2900	2822	3047
		b.	2479	2209	2337	2438
11.	Complete inorganic fertilizer & lime	a.	3018	2945	2784	3145
		b.	2609	2219	2712	2289
12.	No fertilizer or manure	a.	1111	2002	1052	1952
		b.	1676	1718	1561	1640

a. 1st crop

LSD	0.05	187.7	168.2	227.3	184.3
	0.01	246.6	221.0	298.7	242.3

b. 2nd crop

LSD	0.05	133.5	131.0	161.0	157.8
	0.01	175.4	172.2	211.0	207.4

* a and b refer to the first crop and the second crop, respectively.

不顯著。

（5）比較堆肥與綠肥效應時，發現堆肥區稻谷收量概高於綠肥區，其中差異達到顯著平準者，在8次機會中佔有6次（如表9.）。堆肥加過磷酸鈣與綠肥加過磷酸鈣區比較時，所得結果相同。由此顯示稻田施用堆肥優於綠肥，其原因是否與 Chandrasekaran 及 Yoshida (12) 認爲新鮮綠肥施於稻田後，在兩星期內可產生相當高量的醋酸 (acetic acid)、丙酸 (Propionic acid) 及丁酸 (Butyric acid) 而使水稻生長受阻有關，仍待探討。

（6）綠肥單施區與三要素區比較時，稻谷收量差異不顯著。

（7）堆肥單施區與三要素區比較時，前者顯然高於後者，在8次比較中，達顯著平準者佔6次。堆肥加過磷酸鈣與三要素區比較時亦然（見表9.）。

8. 對於肥料要素吸收率的影響：

從表10.有關在來稻與蓬萊稻對於肥料要素之吸收量與吸收率，獲得下列各點：

（1）在來稻對於 NPK 之吸收率均高於蓬萊稻。

（2）氮吸收率中，以大豆粕加過磷酸鈣區最高，約達30%。硫酸錏區最低，僅在14～17%間，其他處理居中。比較三要素石灰區與三要素區時，發現石灰幷未能提高水稻的氮吸收率，但堆肥或綠肥添加過磷酸鈣時，水稻的N吸收率顯然較堆肥或綠肥單施區高，此可能因綠肥或堆肥添加過磷酸鈣後，可促進土壤中磷的釋放，而增加水稻的氮吸收率。

（3）磷吸收率中以過磷酸鈣單施區最低，不及10%，但若與氮、鉀肥配合施用，或與綠肥或堆肥配合施用，顯然水稻對於磷的吸收率可提高到20%左右。

（4）鉀吸收率中，亦以硫酸鉀單施區最低，蓬萊種不及5%，在來種不及8%，但三要素配合施用時，鉀吸收率可提高到30%以上。

（5）鈣吸收率多在5%左右，施用石灰者更低，不及2%，此可能因水稻係屬耐酸作物的緣故。

表10. 水稻對於肥料要素之吸收量與吸收率、在來種

Table 10. Nutrient removal and nutrient absorption ratio of two rice varieties (Indica & Japonica) from the long-term fertilizer treatment during 1924—1971

a. Indica type

No	Treatment	Total amount added (1924-1971) kg/ha	N-uptake kg/ha	Absorption ratio %	P-uptake kg/ha	Absorption ratio %	K-uptake kg/ha	K-absorption ratio %	Ca-uptake kg/ha	Ca-absorption ratio %
1.	Complete inorganic fertilizer	N 8645 P 3777 K 7180 Ca* 9476	5527	28.9	1377	18.0	6859	47.6	1306	6.3

2.	NH_4-sulphate	N 8645	4514	17.2	896		4410		2315	
3.	Ca-superphosphate	P 3777 Ca* 9746	3978		1043	9.1	4552		957	2.7
4.	K-sulphate	K 7180	3249		733		3991	7.7	742	
5.	Farm-yard manure	N 8645	4860	21.2	1219		5756		1076	
6.	Green manure	N 8645	4847	21.1	1133		5140		1073	
7.	Soybean cake & Ca-superphosphate	N 8645 P 3777 Ca* 9746	5789	31.9	1397	18.5	5432		1203	5.2
8.	Farm-yard manure & Ca-superphosphate	N 8645 P 3777 Ca* 9746	5482	28.4	1425	19.2	6523		1186	5.1
9.	Green manure & Ca-superphos phate	N 8645 P 3777 Ca* 9746	5506	28.7	1431	19.4	6086		1224	5.4
10.	Green manure & lime	N 8645 Ca** 36400	5207	25.2	1197		6338		1255	1.5
11.	Complete inorganic fertilizer & lime	N 8645 P 3777 K 7180 Ca* 9746 Ca-- 36400	5417	27.6	1436	19.5	6380	41.0	1376	1.4
12.	No. fertilizer or manure	N 0 P 0 K 0 Ca 0	3027		699		3439		693	

+ Absorption ratio $= \dfrac{\text{Nutrient uptake from treated plot}-\text{Nutrient uptake from check}}{\text{Total amount of nutrient added}}$

++Check = no fertilizer or manure plot.

表10. 水稻對於肥料要素之吸收量與吸收率　蓬萊種

Table 10. Nutrient removal and nutrient absorption ratio of two rice varieties (Indica & Japonica) from the long-term fertilizer treatment during 1926-1971 (Cont'd)

b. Japonica

No	Treatment	Total amount added (1926—1971) kg/ha	N-uptake kg/ha	Absorption ratio %	P-uptake kg/ha	Absorption ratio %	K-uptake kg/ha	K-absorption ratio %	Ca-uptake kg/ha	Ca-absorption ratio %
1.	Complete inorganic fertilizer	N 8075 P 3528 K 6707 Ca* 9104	4832	25.0	1215	17.5	5543	33.4	1036	4.5
2.	NH_4-sulphate	N 8075	3934	13.9	750		3680		861	
3.	Ca-superphosphate	P 3528 Ca* 9104	3385		856	7.4	3796		694	0.7
4.	K-sulphate	K 6707	2884		686		3616	4.6	624	
5.	Farm-yard manure	N 8075	4885	25.7	1164		5468		1045	
6.	Green manure	N 8075	4758	24.1	1033		5295		1142	
7.	Soybean cake & Ca-superphosphate	N 8075 P 3528 Ca* 9104	5294	30.7	1301	20.0	5219		1114	5.3
8.	Farm-yard manure & Ca-superphosphate	N 8075 P 3528 Ca* 9104	5078	28.1	1215	17.5	5584		1082	5.0
9.	Green manure Ca-superphosphate	N 8075 P 3528 Ca* 9104	4954	26.5	1225	17.8	5401		1111	5.3
10.	Green manure & lime	N 8075 Ca** 34000	4864	25.4	1102		5505		1144	1.5
11.	Complete inorganic fertilizer & lime	8075 3528 6707 Ca* 9104 Ca** 34000	4795	24.6	1218	17.6	5395	31.2	1079	1.1

12.	No. fertilizer or manure	N P K Ca	0 0 0 0	2812		596		3305		627	

*Calcium derived from superphosphate.

** Calcium derived from lime.

綜上而言，稻田不宜偏施單質化學肥料，必須施用三要素完全肥料，加施石灰對於增進稻田肥力效益不著，欲求高產，增進地力，必須兼施堆肥，因堆肥可以增加表土中氮可礦物化能量（N mineralization potential），及礦物化速率（Rate of N mineralization），同時并可增加表土中有效矽酸含量。堆肥與過磷酸鈣併施後，復可顯著地提高土壤的陽離子交換能量及磷的釋放速率，藉以減少鹽基淋失與磷的被固定作用。

結論與摘要

本文之目的在探討長期施用同樣肥料對於稻田土壤化學性之變異，肥料要素在土壤之消長與位移，以及對於稻谷收量之影響。土壤樣本乃採自本所圃場自民國13年（1924）以來舉辦之長期肥料試驗。其中設12種不同配合之肥料處理，包括硫酸錏、過磷酸鈣、硫酸鉀、石灰、大豆粕、堆肥及綠肥等。48年來共施硫酸錏、過磷酸鈣、硫酸鉀、石灰以 N,P,K. 及 Ca 計算時，各為 8,370，3,657，6,952 及 35,241 kg/ha，堆肥、綠肥、大豆粕各以 N 計時，則各為8,370 kg/ha。所得結果扼要報告如下：

（1）以三要素與無肥區比較時，在48年來施下肥料中，被水稻移去之 N 為施用量的 25～28%，P為18%，K為40%，Ca為5 %。蓄積於土壤中者，氮為施用量的4.3%，P 為55%，K 為0.4%，及 Ca 為1.4%（以三要素加石灰區與三要素區比較者）。

（2）底土中所含全磷、Fe—P、全鉀、固定鉀、交換性鈣、鎂以及游離鐵與有效矽酸等均顯然高於表土。顯示在稻田強烈淋滲之下，肥料向底土位移，或位移於底土以下，即使磷肥亦不例外。

（3）長期施用硫酸錏對於表土之 pH 與鹽基飽和度與無肥區比較時，差異仍不顯著。顯示在稻田情形之下，鹽基之淋失雖然甚烈，但土壤礦物之風化可能亦甚速，淋失的鹽基容易獲得補充而達到平衡。

（4）從稻谷收量顯示稻田不宜偏施硫酸錏、過磷酸鈣、或硫酸鉀等單質肥料，必須施用三要素完全肥料；但化學肥料只能維持地力，欲求高產，增進肥力，更須兼施堆肥，因堆肥可增加表土中氮可礦物化能量（N mineralization Potential），及礦物化速率（Rate of N mineralization），同時并可增加表土有效矽酸含量；堆肥與過磷酸鈣併施，復可顯著地提高土壤的陽離子交換能量及磷的釋放速率，藉以減少鹽基的淋失與磷的被固定作用。

參考文獻

1.今泉吉郎、吉田昌一，1958.水田土壤の硅酸供給力に關する研究，日本農業技術研究報告 B 第8號。

2.林家棻　1963.植物分析方法與應用　臺灣土壤肥料學會特刊（一）。

3.林家棻、張愛華、曾肇清，1973. 臺灣主要土壤含氮狀況與供應情形，臺灣農業研究第22卷第 3 期（刊印中）。

4.連深　1963.矽對水稻之效應（第二報）農業研究12（3）：16～28。

5.梁鉅榮、黎靜韻，1973.本省北部水稻田土壤之特質及其生成，農業研究22（2）：77～97。

6.張守敬、林家棻、步燚昇1947. 同種肥料連用對於水稻產量及土壤理化性之影響，臺灣省農業試驗所彙報第3號。

7. Asami, T., and Kumada, K. 1959. A new method for determining free iron in paddy soils. Soil and Plant Food, 5 (3) : 141—146.

8. Asami, T., and Kumada, K. 1960. Comparison of several methods for determining free iron in soils. Soil and Plant Food. 5 (4) : 179—183.

9. Black, C. A. (ed.) 1965. Methods of soil analysis, Part 2, Agronomy 9, American Society of Agronomy.

10. Blair, A. W., and Prince, A. L. 1943. The influence of lime on the reaction of subsoil. Jour. Agr. Res. 48 : 469—473.

11. Brown, B. A., and Munsell, R. I. 1937. Soil reaction at various depths as influenced bylime since application, placement, and amount of limestone. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1 : 271—275.

12. Chandrasekaran, S., and Yoshida, T. 1973. Effect of organic and transformations in submerged soil on growth of the rice plant. Soil Science and Plant Nutrition. 19(1) : 39 —45.

13. Chang, S. C. and Chu, W. K. 1960. Effect of fertilizer treatments on the exchangeable bases of lowland paddy soil. Memoirs of the College of Agriculture, National Taiwan University, 5 (4) : 11—17.

14. Clenton, E. Owenby, Kling L. Anderson, and Whitney, D. A. 1969. Some chemical properties of silt loam soil after 20 years' nitrogen and phosphorus fertilization of smooth bromegrass (Bromus inermis, Leyes) . Soil Soi. 108 : 24—29.

15. Fox, R. L., Plucknett. D. L., and Whitney, A. S. 1968. Phosphate requirement of Hawaiian latosols and residual effects of fertilizer phosphorus. Int. Cong. Soil Sci. Trans . 9th (Adelaide, Aust.) 2 : 301—310.

16. Fox, R. L. and Kamprath, 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the pho sphate requirements of soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 34 (6) : 902—906.

17. Kawaguchi, K., and Kyuma, K. 1969. Lowland rice soil in Thailand. Center for Southeast Asian Studies. Kyoto University, Japan.

18. Keeney, D. R., and Bremer, J. M. 1964. Effect of cultivation on the nitrogen distribution in soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28 : 653—656.

19. Metzger, W. H. 1934. Distribution of fertilizer residues in the soil after fourteen years of a fertilizer experiment with alfalfa. Jour. Amer. Soc. Agron. 23 : 759—770.

20. Moscher, W. W., Obenshain, S. S. Coocks, R. P., and Campen, H. M. 1949. The effect of varying amounts of ground limestone on the pH and base exchange properties of Sassafras fine sandy loam. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 14 : 123 —125.

21. Nelson, P. R. 1929. Lime penetration resulting from surface application to pasture land. Soil Sci. 27 : 143—146.

22. Oniani, 0. G., Chater, M., and Nattingly, G. E. G. 1973. Some effects of fertilizers and farmyard manure on the organic phosphorus in soils. Jour. Soil Sci. 24 : 1—9.

23. Panamperuma, F. N. 1972. The Chemistry of submerged soils. Advanced in Agronomy.

Vol.24 Academic Press, Inc., New York and London.

24. Petersen, G. W., and Corey, R. B. 1966. A modified Chang and Jackson procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphate. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 30 (5) : 563—565.

25. Porter, L. K., Stewart, B. A., and Haas, H. J. 1964. Effect of long-time cropping on hydrolyzable organic nitrogen fraction in some Great Plains Soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 28 : 368—370.

26. Pratt, P. F., and Goulben, B. 1957. Potassium fixation in soil of a long-term fertility trial with citrus. Soil Sci. 84 : 3.

27. Smith S. J. and Stanford, G. 1971. Evaluation of a chemical index of soil nitrogen availability. Soil Science. 111-228—232.

28. Stanford, G. and Smith, S. J. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 36 : 465—472.

29. Stauffer, R. S. 1957. Effect of long-time soil treatment on the organic carbon content of some Illinois soils. Agron. Jour. 49 : 598—600.

30. Stevenson, F. J. 1956. Effect of some long-time rotations on the amino acid composition of Soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20 : 204—208.

31. Vitosh, M. L., Davis, J. F., and Knezek, B. D. 1972. Long-term effects of manure, fertilizer and plow depth on chemical properties of soils and nutrient movement in a monoculture corn (Zea mays, L.) system. Agronomy Abstracts. 1972 Annual Meetings.

EFFECTS OF SOME LONG-TERM FERTILIZER TREATMENTS ON THE CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL AND YIELD OF RICE

by

C. F. Lin, T. S. Lee Wang, A. H . Chang, C. Y. Cheng

Summary

A 48—year field trial with lowland rice has been conducted since 1924 on an acid alluvial to evaluate the effects of fertilizer treatments on the soil chemical properties, nutrient accumulation, nutrient movement, nutrient removal, and yield of rice. The twelve fertilizer treatments involved in the experiment are : (1) complete inorganic fertilizer, (2) ammonium sulphate, (3) calcium superphosphate, (4) potassium sulphate, (5) farmyard manure, (6) green manure, (7) soybean cake and superphosphate, (8) farmyard manure and superphosphate, (9) green manure and superphosphate, (10) green manure and lime, (11) complete inorganic fertilizer and lime, and (12) check, without fertilizer or manure.

This experiment was suspended during 1943-1945, and resumed in 1946. Soil samples were taken just after the harvest of the first crop of 1972. The total amounts of P, K, and Ca added as calcium superphosphate, potassium sulphate, and lime plus superphosphate in the 48 years are 3.66, 6.95, and 35.24 tons/ha, respectively. While the amount of ammonium sulphate, soybean cake, green manure and farmyard manure calculated on the basis of N is 8.37 tons/ha for each of them. The results may be summarized as follows :

1. By comparing the nutrient uptake between NPK-plot and check plot, the removals of N, P, K, and Ca by rice crop as the percentage of those added in the past 48 years are 25—29%, 18%, 40% and 5%, respectively.

2. The nutrients accumulated in the 35-cm depth of soil profile including surface and subsoil as percentage of those added are 4.3% for N, 58% for P, 0.4% for K, and 1.4% for Ca.

3. The contents of total P, Fe—P, total K, fixed K, exchangeable Ca and Mg, free iron oxide, and available silica in the subsoil are unanimously higher than those in the surface soil. It indicates that the build-up of fertility status in the soil profile through application of fertilizers is very difficult under flooded condition. Even superphosphate tends to move downwards. On the contrary, the degree of base saturation and pH of the soil do not decrease appreciably even by long-term application of ammonium sulphate alone It may be due to the supply of soil bases under flooded condition better than those in the upland soil through quicker weathering of soil minerals.

4. So far as the yield of rice is concerned, single application of ammonium sulphate/calcium superphosphate/potassium sulphate gives yield significantly lower than complete inorganic fertilizer. Addition of lime to complete inorganic fertilizer does not cause great increase in yield especially in the later period (1946—1971) . Addition of lime to green manure shows the same effect. It is interested to note that the best yield has been given by farmyard manure with superphosphate throughout the 48 years. It is due probably to the fact that farmyard manure has shown favorable effects on soil N mineralization potential, rate of N mineralization, liberation of soil phosphate and availability of soil silica. In addition, the cation exchange capacity has also been significantly increased by the combined application of farmyard manure and superphosphate. It is, thus, concluded that the addition of farmyard manure with complete inorganic fertilizer is indispensable for increasing productivity of paddy soil.